

TEMA 3: TÉCNICAS DE TRANSMISIÓN.

1. ELEMENTOS DE LA COMUNICACIÓN.

La información que se envía por un canal tiene que llegar al destino y se tiene que poder interpretar. Esta información tiene que ser la misma pero como aparecen distorsiones esto no pasa.



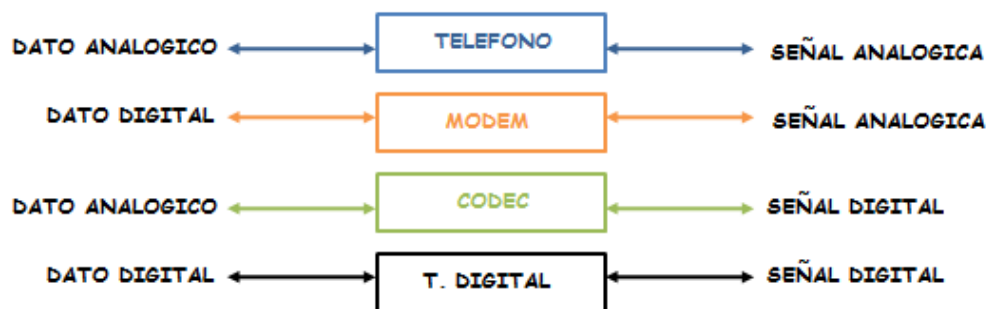
El origen y el destino se comunican a través de un canal o sistema de comunicación a través de un canal o sistema de comunicación.

Para poder transmitir hay que adaptar el dato a la naturaleza del canal.

- **TRANSMISOR:** Coge los datos y los adapta al sistema de transmisión. Los convierte en señales que van a transportar la información a transmitir.
- **RECEPTOR:** Vuelve a convertir en datos, las señales transmitidas a través del sistema de transmisión para que el destino los interprete.

Tanto el transmisor como el receptor se le denominan equipo terminal de circuitos de datos (ETCD) para adaptar los datos.

Según como se adapten los datos, vamos a tener cuatro tipos distintos de ETCD:



A la fuente se la denomina equipo terminal de datos origen (ETD-Origen) que generan los datos. Al destino se le llama equipo terminal de datos destino (ETD-Destino) que recoge los datos desde el sistema de transmisión.

• TIPOS DE SISTEMAS DE TRANSMISIÓN:

Según la naturaleza del medio de transmisión:

- GUIADOS:** Usan medios físicos, como cable coaxial y fibra óptica.
- NO GUIADOS:** No usan ningún medio físico, la información se transmite por el aire.

Según la disposición física de los elementos del sistema:

- PUNTO A PUNTO:** Hay dos únicos usuarios (origen, destino) conectados al medio de comunicación.
- MULTIPUNTO:** Varios usuarios conectados a la vez al medio de comunicación.

En función del intercambio de datos:

- SIMPLEX:** Transmisión de datos entre origen y destino van en una sola dirección. Provocado por elementos de los extremos, no por el canal de transmisión.
- SEMIDUPLEX:** La información se puede transmitir en ambos sentidos pero no a la vez. La capacidad máxima del canal será la máxima de las líneas por las que se puede transmitir (para no perder datos).
- DUPLEX:** La información se puede transmitir en ambos sentidos y a la vez.

Según el tipo de señal que viaja por el canal:

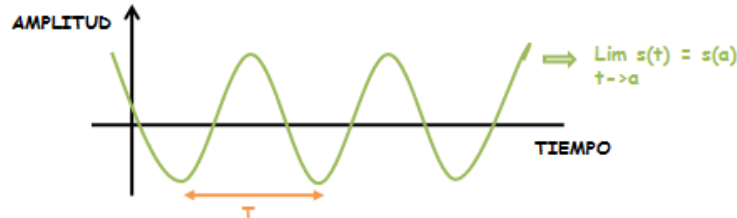
-**ANALÓGICO**: Toma un número infinito de valores.

-**DIGITAL**: Toma un número finito de valores.

• SEÑALES ANALÓGICAS VS DIGITALES:

-**ANALÓGICAS**: Señales continuas, es decir, la intensidad (amplitud) de la señal varía suavemente en el tiempo. Además la señal va a poder tomar un valor infinito de datos.

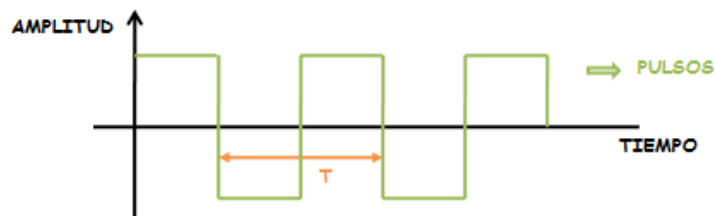
Se definen por: amplitud, frecuencia y fase. Si se modifican estos parámetros conseguimos enviar la información en la señal.



-**DIGITAL**: Señales discretas.

La intensidad se va a mantener constante durante un determinado tiempo, tras el cual la señal cambia a otro valor constante.

La señal va a tomar un valor finito de datos.



Las señales independientemente de que sean analógicas o digitales pueden ser periódicas, que se caracterizan por contener un patrón que se repite a lo largo del tiempo, o no periódicas.

1.1 ANCHO DE BANDA (W).

La información la vamos a transmitir, descomponiendo la señal: Análisis de Fourier (nos permite conocer el ancho de banda).

Cuando transmitimos, lo que vamos a hacer es transmitir la frecuencia de los elementos al descomponer por el análisis de Fourier y así poder en el destino reconstruir la señal con el mismo valor.

A mayor número de frecuencias que se transmiten, mejor es la representación de la información en el destino (calidad).

• **ANCHO DE BANDA**: Diferencia entre la frecuencia máxima y la frecuencia mínima que se transmite por el canal.

$$\omega = F_{\text{MAX}} - F_{\text{MIN}}$$

ω es el espectro de frecuencias por el cual se transmite la señal. Estas frecuencias o armónicos dependen de f_0 (armónico fundamental)

La velocidad será alta, cuando el ancho de banda que se utilice sea grande ($f_0 \uparrow$, $T \downarrow$), de forma análoga la velocidad disminuirá cuando se reduzca el ancho de banda utilizado ($f_0 \downarrow$, $T \uparrow$).

1.2 VELOCIDAD.

• **VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN**: Número de bits/seg que se envían por el canal.

La unidad básica que queremos transmitir es el dato pero lo que viaja por el canal son señales.

$$V_{\text{transm}} = 1/T \text{ donde } T: \text{Duración de 1 bit.}$$

• **VELOCIDAD DE SEÑALIZACIÓN**: Número de elementos de señalización por segundo, es decir, el número de señales que se transmiten por el canal en un segundo.

Se mide en baudios.

$$V_{\text{señal}} = 1/T \quad \text{donde } T: \text{Duración de un intervalo de señal.}$$

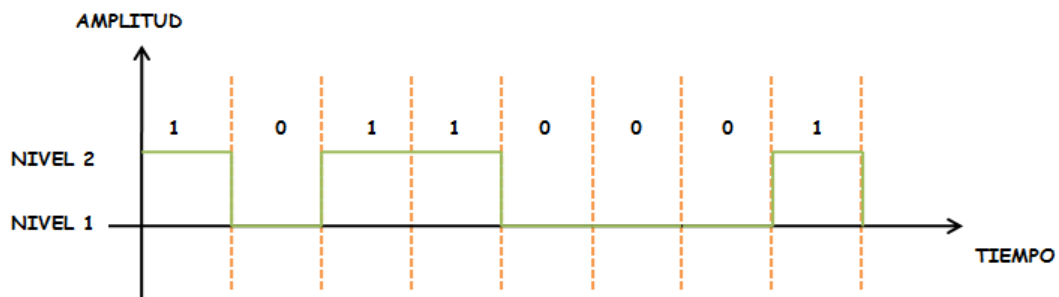
Podemos relacionar la velocidad de transmisión y la velocidad de señalización.

$$V_{\text{transm}} = V_{\text{señal}} \times \log_2 N \quad \text{donde } N: \text{Numero de estados posibles en la señal.}$$

$$V_{\text{transm}} = V_{\text{señal}} \Leftrightarrow N=2$$

*** EJEMPLO:**

1. Señal digital con dos niveles (en 1 segundo).

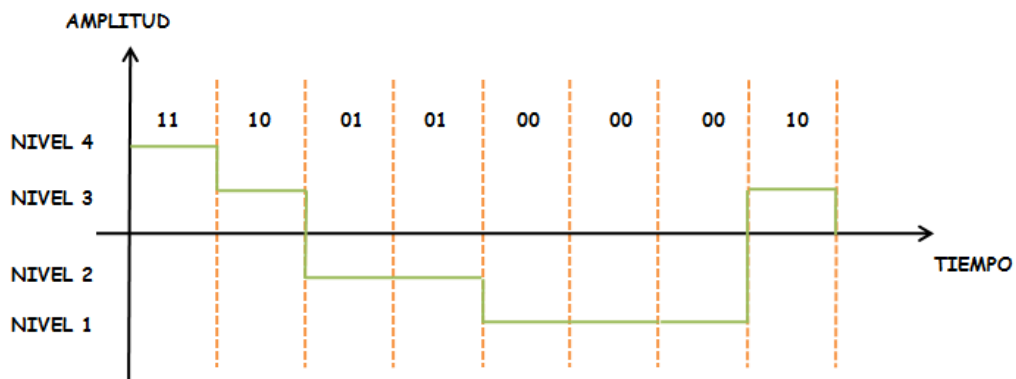


La señal digital solo toma dos valores, es decir, solo tiene dos estados posibles.

La relación entre dato y señal es 1:1 (la señal es binaria), es decir, en cada señal solo se transmite un dato.

Como en un segundo se transmiten 8 pulsos (señales) $\Rightarrow Vel = 8 \times \log_2 2$; $Vel=8\text{bps}$.

2. Señal digital con cuatro niveles (en 1 segundo).



La señal digital puede tomar hasta valores, es decir, pueden llegar a tener cuatro estados posibles.

La relación entre dato y señal es 2:1, es decir, en cada señal solo se transmiten dos datos.

Como en un segundo se transmiten 8 pulsos $\Rightarrow Vel = 8 \times \log_2 4$; $Vel=16\text{bps}$.

No siempre hace falta aplicar la formula que relaciona bps y baudios. Cada tipo de código tiene su propia forma de codificar la información para aportar información adicional al dato:

$$V_{\text{señal}} = r \times V_{\text{trans}}$$

$$\text{donde } r: \text{N}^\circ \text{ de bits que transmite cada señal } r = \frac{\text{Elemento_Datos}}{\text{Elemento_Señal}}$$

- **CAPACIDAD DEL CANAL:** Cantidad de información que se transmite por unidad de tiempo. Para señales binarias
Capacidad = $V_{transm.}$ Se mide en bits/seg.

Los parámetros que caracterizan la capacidad de un canal son:

1. Velocidad de transmisión (tasa de información)
2. Ancho de banda
3. Relación entre la señal y el ruido.

-**TEOREMA DE NYQUIST:** Suponemos canales sin ruido.

$$V_{baudio} = 2 W$$

$$\text{Capacidad} = V_{baudio} \times \log_2 N \Rightarrow$$

$$C = 2 W \times \log_2 N$$

-**TEOREMA DE SHANNON:** Suponemos canal con ruido.

El n° de niveles máximo va a depender de la potencia de la señal y la potencia del ruido: $N = \sqrt{1 + S/R}$

$$C = W \times \log_2 (1 + S/R)$$

Donde:

$$S/R (\text{dato=db}) = 10 \log_{10} \text{Potencia_Señal/Potencia_Ruido}$$

* **EJEMPLO:** Sea $W = 3100$ con señal binaria y $S/R = 30$ db.

1. **NYQUIST:** $C = 2 \times 3100 \log_2 2 = 6200$ bps.

2. **SHANNON:** $C = 3100 \log_2 (1 + S/R)$

$$S/R = 10 \log_{10} S/R \Rightarrow 30 = 10 \log_{10} (1 + S/R) \Rightarrow S/R = 10^{30/10} = 1000.$$

Por tanto:

$$C = 3100 \log_2 (1 + 1000) = 31.000$$
 bps

1.3 PERTURBACIONES.

Los canales no son perfectos y la información que se transmite se puede deteriorar hasta el punto de no poder tratarlo en el destino.

- **ATENUACION:** Pérdida de potencia de una señal al transmitirla por un canal.

Disminución en amplitud de la potencia de una señal durante su transmisión entre dos puntos.

Se mide en decibelios (db).

$$ATEN = 10 \log_{10} P_2/P_1$$

Para solucionar el problema de la atenuación se utilizan amplificadores.

-**AMPLIFICADOR:** Permite volver a transmitir la señal. A mayor distancia, mayor número de amplificadores se necesitan.



Al amplificar la señal, no solo se amplifica el dato también se amplifica el ruido.

El número de amplificadores van a influir en la calidad de la señal, puede llegar un momento en el que no se sepa cual es dato y cual es ruido.

- **RUIDO:** Información adicional que se añade a la señal durante la transmisión de la información por el canal.

Se mide en decibelios (db)

Es importante para la calidad de la señal: a menor ruido, mayor calidad.

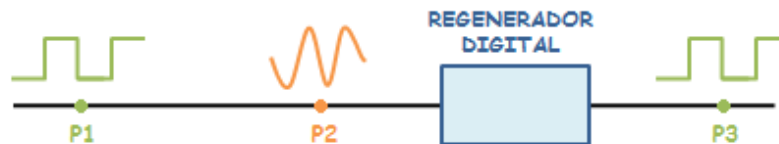
La señal recibida es diferente a la que se ha enviado, debido al ruido.

- **DISTORSION:** La señal que llega al destino no es la misma que la que se mando.

Deforma la señal que se envía por el canal.

Se produce debido a que el medio físico se comporta de forma distinta para señales de distintas frecuencias.

La solución consiste en utilizar un regenerador digital que lo que hace es generar una nueva señal desde el principio sin ninguna perturbación.



1.4 SINCRONISMO.

Para que la información que se envía llegue de forma correcta, el origen y el destino tienen que estar sincronizados para que el destino sepa en qué momento tiene que ir al canal a coger la información.

El origen manda una señal para indicar que ya está la información lista.

Se realiza la transmisión de información de forma concreta para que el destino sepa cuando la información es para él.

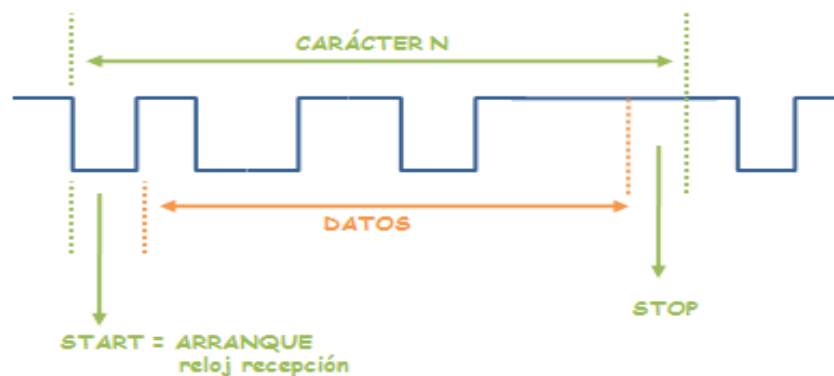
Hay tres tipos de sincronismo:

1. De bit
2. De carácter.
3. De bloque.

- **TRANSMISION ASINCRONA:** Se transmite la información carácter a carácter.

Cada vez que se pulsa una tecla se codifica y se manda el dato: $\text{Long_Dato} = \text{Long_Caract} + \text{Sincronismo}$.

Se añade al principio un bit de arranque y al final un bit de parada, es decir, información de sincronismo.



- **TRANSMISION SINCRONA:** La información se transmite bloque a bloque y cada bloque se compone de número de caracteres.

El sincronismo de bit es perfecto, la señal de reloj se transmite a la vez que los datos:



1. Se transmite por un circuito los datos y por otro la señal de reloj: se usa para distancia cortas y puede provocar un deterioro en la señal del reloj.

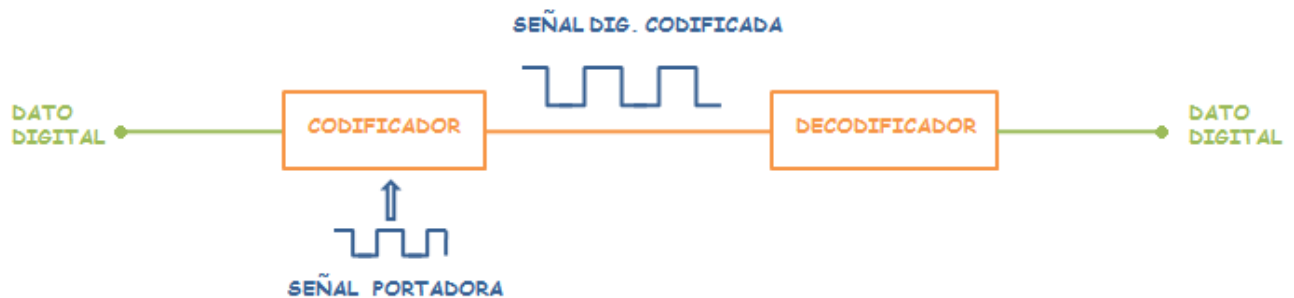
- Se transmite por el mismo canal los datos y la señal de reloj, esto hace necesario codificar la información. Cuando la información llega a la ETC se codifican los datos. La información que sale va a contener los datos y la información de sincronismo. Se necesita sincronismo de bloque, por lo que utilizaremos delimitadores de bloque (bits)

2. CODIFICACION DE DATOS.

2.1 DATOS DIGITALES \Rightarrow SEÑALES DIGITALES.

Se necesita un codificador, tanto en el origen como en el destino, para generar una señal con las características adecuadas para poder transmitir la información por el canal.

El codificador genera un código en el que llevamos los datos junto con la información adicional.

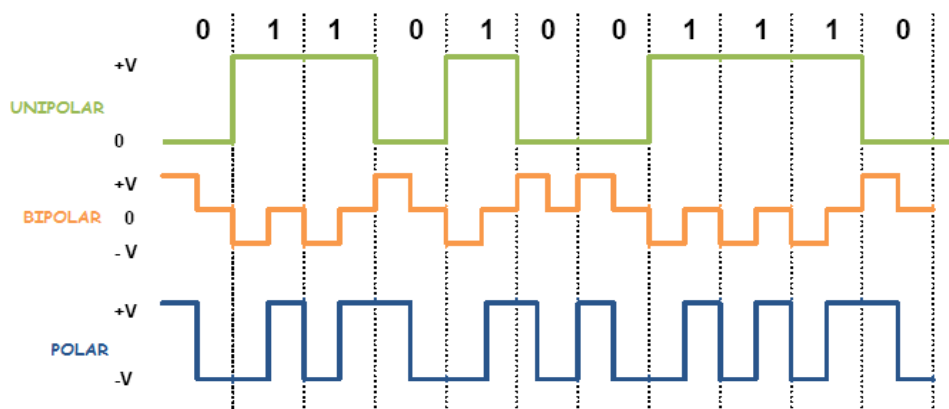


La señal portadora no contiene ningún valor pero se genera teniendo en cuenta la naturaleza del canal.

Antes de salir al canal el codificador codifica los datos para que lleve la información deseada: Señal Analógica Codificada.

Para codificar los datos se pueden usar distintos códigos: añaden sincronismo, redundancia ...

- **UNIPOLAR:** Solo toma dos posibles valores: 0, +V
- **BIPOLAR:** Toma los siguientes: -V, 0, +V.
- **POLAR:** Solo toma dos posibles valores: -V, +V

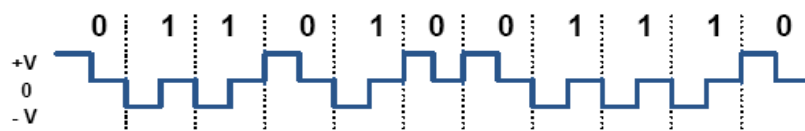


Aunque necesitemos mayor ancho de banda, es mejor usar códigos que cambien de estado, para permitir añadir sincronismo. El mejor código es el bipolar.

- **RZ:** Retorno a cero.

La señal no permanece estable durante todo el tiempo asignado a la transmisión del bit. Se añade información adicional a pesar de que aumenta el ancho de banda.

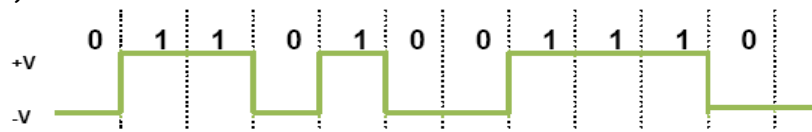
La señal va a retornar a cero en la mitad del bit.



- **NRZ:** No retorno a cero.

Es la forma más frecuente y fácil de transmitir señales digitales, para ello se utiliza un nivel diferente de tensión para cada uno de los dígitos binarios que se quieren transmitir.

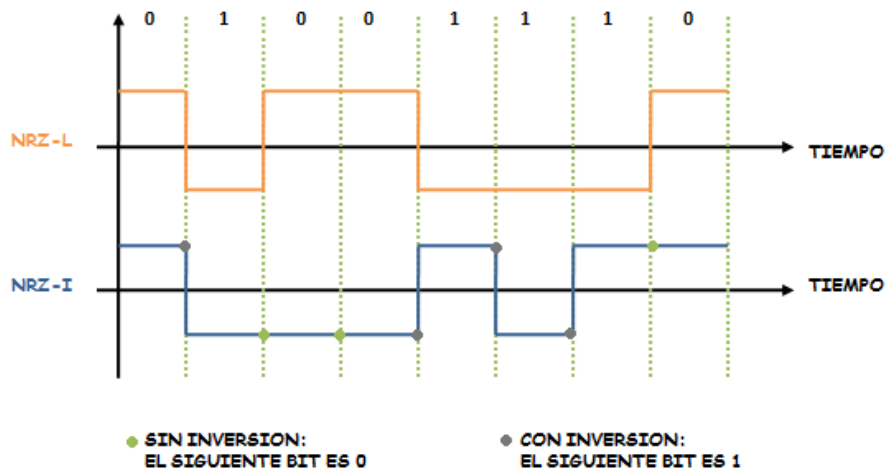
El pulso permanece estable todo el tiempo asignado al bit, es decir, no hay transiciones (no hay retorno al nivel cero de tensión).



Podemos considerar dos variantes:

-**NRZ-L:** No retorno a nivel cero. El nivel de voltaje determina el valor del bit.

-**NRZ-I:** No retorno a cero invertido. La inversión es la que determina el valor del bit.



Son los más fáciles de implementar, y se caracterizan por hacer un uso eficaz del ancho de banda.

La principal limitación es la presencia de una componente de continuidad y la ausencia de capacidad de sincronización, ya que, cuando quiere enviar una cadena exclusivamente formada por ceros o exclusivamente por unos, la más mínima fluctuación entre los relojes de los ETCD producirá una pérdida en la sincronización.

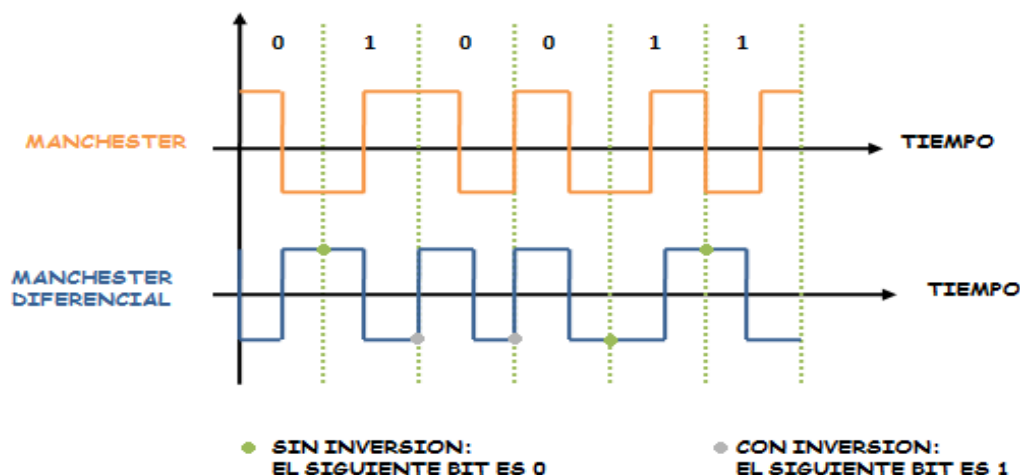
- **MANCHESTER:** A cada bit le corresponden dos cambios de señal.

Siempre hay una transición en la mitad del intervalo de duración del bit, esto sirve como procedimiento de sincronización a la vez que se transmite la información.

Cuando se transmite un cero se va a producir una transición de alto a bajo en la mitad del intervalo. Si se transmite un 1 la transición será de bajo a alto.

- **MANCHESTER DIFERENCIAL:** La transición a mitad del intervalo se utiliza solo para proporcionar sincronización.

La codificación del cero se representa por la presencia de una transición al principio del intervalo del bit, el uno se va a representar mediante la ausencia de transición al principio del intervalo.

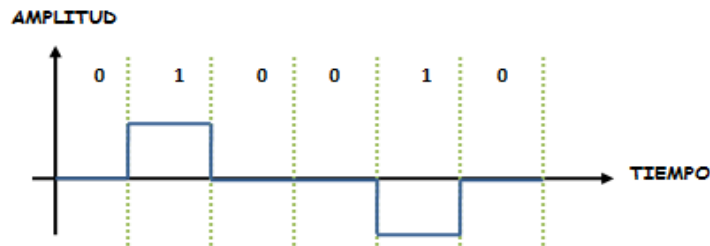


Estos códigos bifase (Manchester y Manchester diferencial) además de solucionar los problemas de sincronización permiten la detección de errores cuando se descubre una ausencia de transición esperada en la mitad del intervalo.

- **AMI:** Código bipolar con inversión de marca alternativa.

Cuando se transmite un cero, no se genera señal, pero cuando se transmite el uno se va a producir una transición entre nivel positivo y negativo de manera alterna.

Usan más de dos niveles de señal.



Evita problemas de sincronización cuando se transmite una cadena exclusiva de unos, pero se sigue manteniendo los problemas en el caso de solo querer mandar ceros.

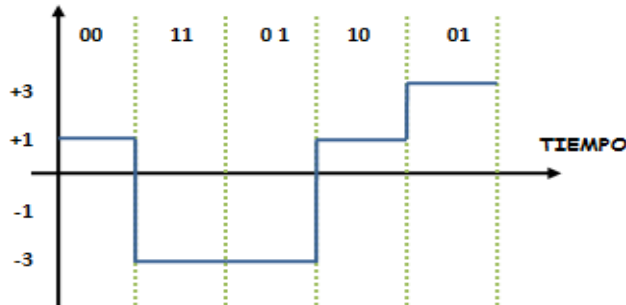
Una variación de este código es el código pseudoaleatorio, que en lo único en que se diferencia es que el cero es el que va a producir la transición y el uno representa la ausencia de señal.

- **MULTINIVEL 2B1Q:** Dos dígitos binarios se transmiten como un dígito cuaternario, es decir en un dígito que puede tomar cuatro valores distintos.

Para añadir mayor sincronismo en el siguiente nivel se toman valores negativos. Se utilizan tablas de transición.

Para enviar la información se dividen los datos digitales en grupos de dos y se agrupan en una señal.

$$\text{Bits/Señal} \equiv r = 1/2$$



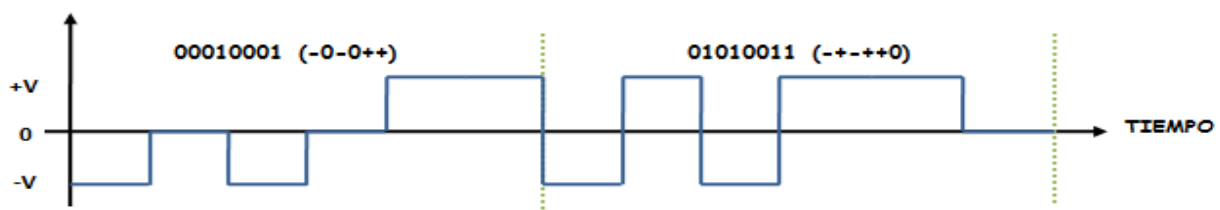
SUPONEMOS NIVEL ORIGINAL POSITIVO

BITS SIGUIENTES	SIGUIENTES NIVEL \Leftrightarrow ANTERIOR +	SIGUIENTES NIVEL \Leftrightarrow ANTERIOR -
00	+1	-1
01	+3	-3
10	-1	+1
11	-3	+3

- **MULTINIVEL 8B6T:** Ochos dígitos binarios se transmiten como seis dígitos ternarios. La señal puede tomar tres niveles distintos.

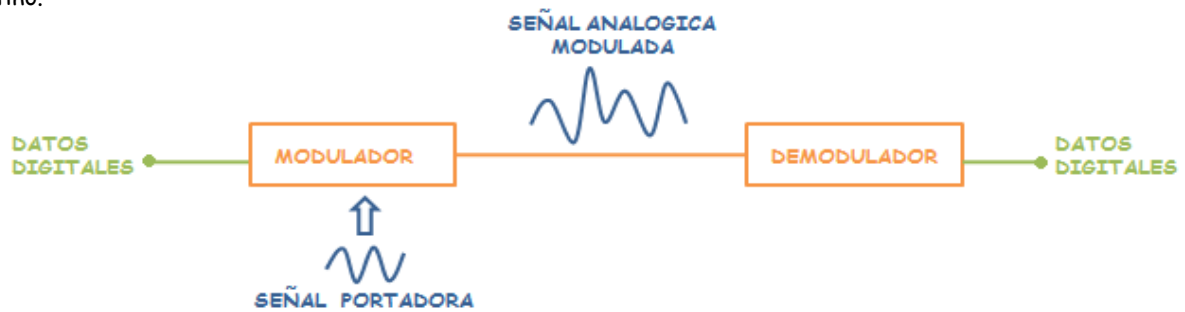
Entran ocho bits al codificador y salen seis señales.

$$\text{Bits/Señal} \equiv r = 6/8$$



2.2 DATOS DIGITALES \Rightarrow SEÑALES ANALÓGICAS.

Se tiene que modular y demodular los datos. Se usan módems que tiene n que estar tanto en origen como en el destino.

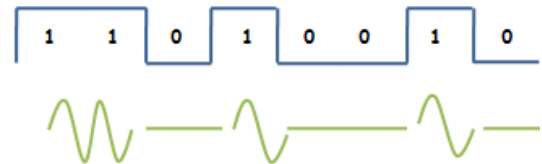


La información que se quiere enviar se llama señal moduladora, cuando esta señal entra en el RTCD se va a generar la señal portadora. Esta señal no contiene ningún valor pero se genera teniendo en cuenta la naturaleza del canal.

Cuando la información sale al canal se modifica algún parámetro para que lleve la información deseada, esta señal se va a llamar señal analógica modulada.

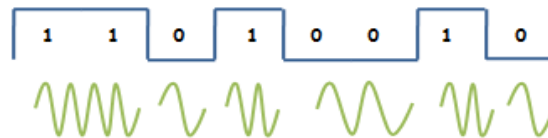
- **MODULACION ASK:** El parámetro que se modifica es la amplitud.

La portadora que se genera modifica el parámetro de la amplitud, cada valor binario se va a representar con dos amplitudes distintas de la frecuencia de la portadora.

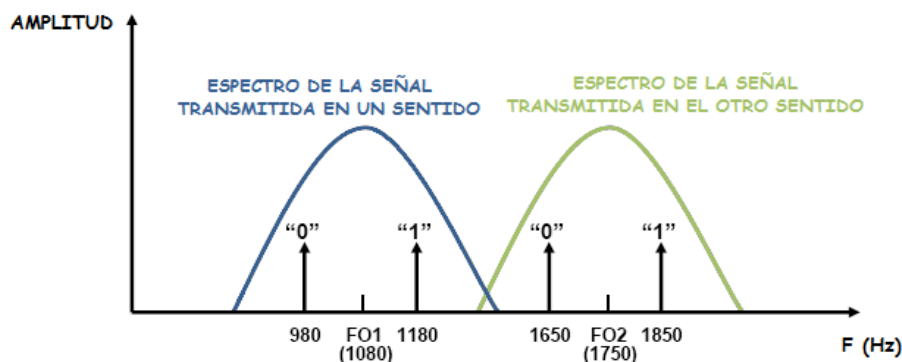


- **MODULACION FSK:** El parámetro que se modifica es la frecuencia

Cada valor binario se va a representar con dos frecuencias diferentes y próximas a la portadora.



Se permite transmitir en full-dúplex, lo único que hay que tener en cuenta es el dígito que se quiere transmitir y el sentido de la transmisión.



- **MODULACION PSK:** El parámetro que se modifica es la fase

La fase de la señal portadora se desplaza para representar con ello datos digitales. La señal se rompe cuando se transmite un cero, si se transmite un 1 no se va a modificar.



Pueden producirse problemas con el sincronismo cuando solo se transmiten 1 se pierden, para evitarlo se usa modulación DPSK.

En la modulación DPSK se rompe la señal cuando cambia el dígito pero teniendo en cuenta el estado anterior de la señal. Da valor binario se van a representar con dos frecuencias diferentes y próximas a la portadora.

- **MODULACION MULTINIVEL:** Cada una de las señales tiene más de un bit (la señal no es binaria).

* **VELOCIDAD DE MODULACION:** Numero de pulsos, o elementos de señalización por segundo.

$$V_{\text{Señal}} = 1/T \text{ Baudios}$$

* **VELOCIDAD DE DATOS:** Numero de bits que se transmiten por segundo.

$$V_{\text{Datos}} = V_{\text{señal}} \times N \text{ Bits/seg}$$

Donde $N \equiv$ numero de bits por elementos de señalización.

Se usa para optimizar el canal, aumentar la eficiencia, para ello permitimos que una señal lleve más de un dígito binario.

A la hora de codificar los datos se añaden más de un bit por señal, se va a modificar más de un parámetro en la portadora.

-**MODULACION QAM:** Modulación de amplitud en cuadratura.

Técnica de señalización analógica que se utiliza en algunas normas inalámbricas y en las líneas ADSL.

Es una combinación de las técnicas de modulación ASK y PSK, e incluso se puede considerar una generalización de QPSK.

En QAM se aprovecha el hecho de que es posible enviar simultáneamente dos señales diferentes sobre la misma frecuencia de la portadora, transmitimos dos portadoras desfasadas 90° .

Cada portadora se modula usando ASK. Se modifica la amplitud dependiendo de la cantidad de información que se quiere transmitir.

-**MODULACION QPSK:** Modulación por desplazamiento de la fase en cuadratura.

Se consigue un uso eficaz del ancho de banda, ya que cada elemento de señalización representa más de un bit.

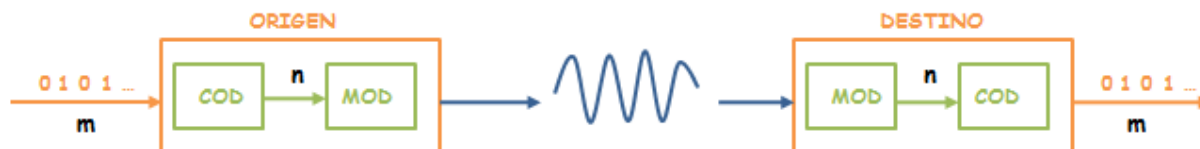
La fase se va a desplazar en 90° , dependiendo del número de ángulos que se utilicen podremos enviar más o menos bits a la vez.

Si se utilizan ocho ángulos de fase diferentes vamos a poder transmitir de una vez tres bits.

-**CODIFICACION EN REJILLA:** Codifica y modula dependiendo del dato que se quiere transmitir.

Se usa para añadir redundancia a la información que se transmite y así poder detectar y corregir errores aislados.

El emisor acepta bloques de m bits y produce bloques de n símbolos. El receptor acepta bloques de n símbolos y produce bloques de m bits.



En el origen el codificador va a añadir redundancia a la información y el modulador va a adaptar la información a la naturaleza del canal.

En el destino el modulador va a volver a convertir la información que se ha transmitido por el canal al formato original y el codificador va a eliminar la redundancia.

2.3 DATOS ANALÓGICOS \Rightarrow SEÑALES DIGITALES.

Se conoce como digitalización.

Se usa modulación por impulsos codificados: transmite datos analógicos a través de señales digitales codificando los datos.



El códec es el dispositivo que se utiliza para la conversión de los datos analógicos en digitales y que, posteriormente, recupera los datos analógicos iniciales a partir de los digitales.

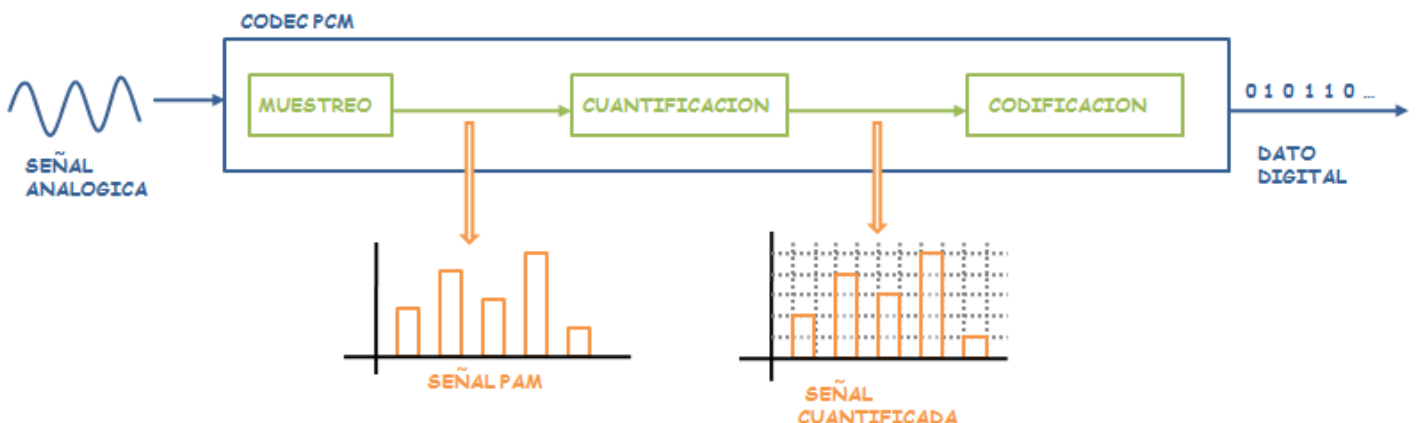
- **MODULACION POR IMPULSOS CODIFICADOS (MIC/PCM):** Esta técnica genera la señal digital tomando como entrada una señal analógica continua en el tiempo y en amplitud. La señal digital resultante consiste en bloques de n bits, donde cada número de n bits corresponde con la amplitud de un impulso PCM.

Se basa en el teorema de muestreo.

-**TEOREMA DE MUESTREO:** Una señal en función del tiempo se muestrea a intervalos regulares (usando la frecuencia máxima del canal) vamos a poder reconstruirla en el destino con la misma información.

$$\text{Frec_Muestreo} \geq 2 W$$

Para codificar la señal en el códec se van a seguir las siguientes etapas:



-**MUESTREO:** Cogemos una serie de valores: muestras. Las muestras son las que se codifican y se mandan por el canal. Se cogen las muestras aplicando el teorema de muestreo.

La señal que se obtiene se denomina SEÑAL PAM.

-**MODULACION DE AMPLITUD:** Obtenemos la amplitud de las muestras (valores reales).

-**CUANTIFICACION:** Asignamos el valor entero más próximo a las amplitudes que obtenemos en la modulación. Como al cuantificar la señal original solo se aproxima, no podrá ser recuperada con exactitud. Se produce un error de cuantificación o ruido de cuantificación.

* **CUANTIFICACION NO LINEAL:** Los niveles de cuantificación no están igualmente separados.

* **CUANTIFICACION LINEAL:** Se consideran separaciones entre niveles iguales. Esto produce un error ya que el valor medio del valor absoluto del error, es el mismo, independientemente del nivel de la señal.

Nos interesa reducir el error de cuantificación lo máximo posible, a la hora de asignar valores enteros los niveles de cuantificación serán proporcionales. Menor cuando no lleva información.

-**CODIFICACION:** Sustituimos un valor entero por su código binario.

- **REGIMEN BINARIO (RBin):** Bits/seg que van por el canal \approx Capacidad. Se puede dar el caso que tengamos un conjunto de canales.

$$R_{Bin} = \text{Frec_Muestreo} \times \text{Bit/Muestra} \times N^{\circ}\text{Canales (Señales)}$$

$$R_{Bin} = \text{Bit/Trama} \times N^{\circ}\text{Tramas/seg}$$

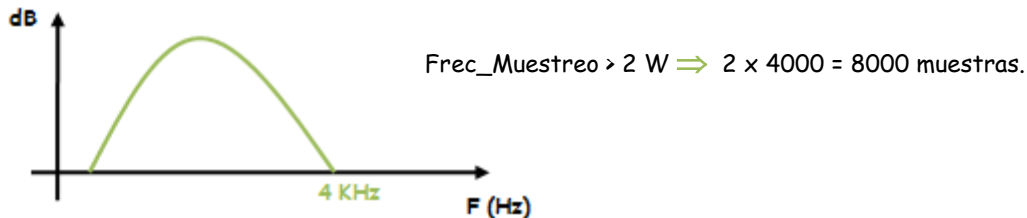
Donde:

$$\text{Bit/Trama} = \text{Bit/Muestra} \times N^{\circ}\text{Canales}$$

También podemos expresar el régimen binario de la siguiente forma:

$$R_{Bin} = \frac{\text{Bit/Trama}}{\text{Duracion_Trama}}$$

* **EJEMPLO: DIGITALIZACION DE LA SEÑAL DE VOZ.**



Suponiendo reproducción con 256 niveles de 8 bits cada nivel $\Rightarrow C = 8 \text{ bits} \times \text{Frec_Muestreo}$.

$$\Rightarrow C = 8 \times 8000 \text{ Muestras.} \Rightarrow C = 64 \text{ Kbps}$$

3. UTILIZACION DEL ANCHO DE BANDA.

Para realizar un uso eficiente del medio de transmisión se tiene que poder compartir con varios usuarios y que la información cumpla varios requisitos:

1. Disminuir el número de interferencias.
2. Tiene que haber privacidad en la información.

3.1 MULTIPLEXACION:

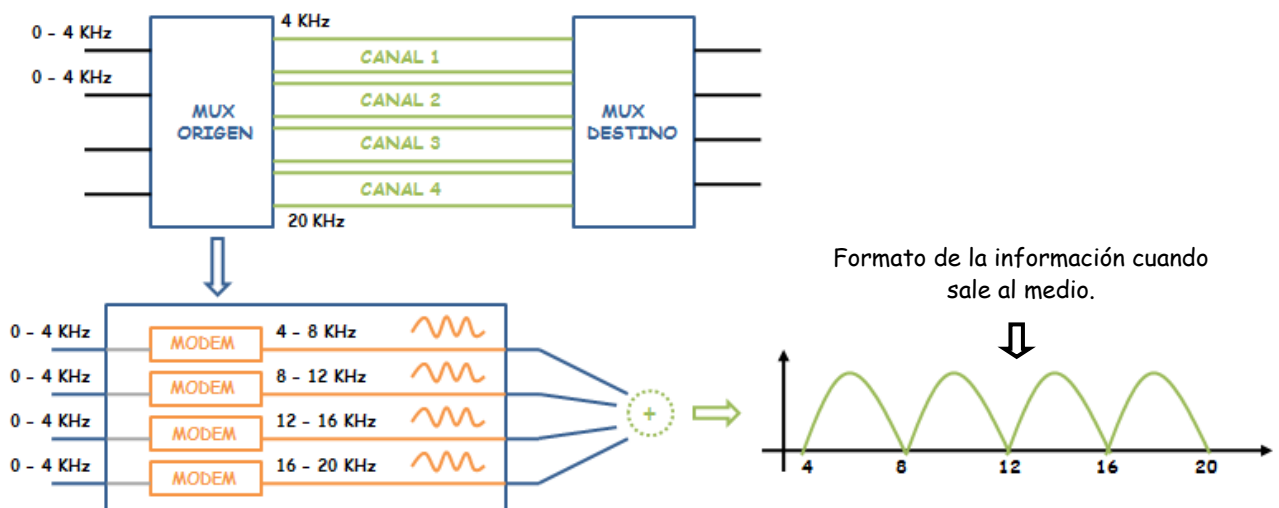
Técnica básica usada para optimizar el uso del medio de transmisión, ya que, varios usuarios pueden usar el medio a la vez amos a suponer que el tiempo de proceso y el tiempo de envío de la trama de confirmación son despreciables.

- **M. POR DIVISION DE FRECUENCIAS (FDM):** Se pueden transmitir varias señales simultáneamente si cada una de ellas modula con una frecuencia portadora diferente a señal, siempre que estas frecuencias estén lo suficientemente solapadas para que no se solapen.

Este tipo de multiplexación es posible cuando el ancho de banda útil del medio de transmisión supera al ancho de banda requerido por las señales a transmitir.

Se le asigna un conjunto de frecuencias a cada una de las señales que se envían al medio. A este conjunto de frecuencias se le denomina CANAL.

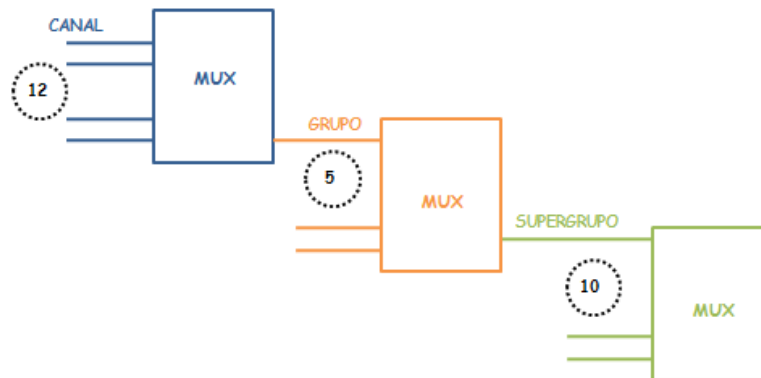
Se suele dejar un conjunto de frecuencias sin usar para evitar interferencias: BANDA DE GUARDA.



La señal que va por el medio es analógica, aunque las señales de entrada pueden ser tanto digitales como analógicas.

En el caso de que la señal de entrada sea digital se necesitara un codec para convertirla en analógica. En cualquier caso la señal de entrada se debe modular para trasladarla a la banda de frecuencia apropiada.

-ESTANDAR: Indica el número de canales que se pueden multiplexar a la vez.



El ancho de banda del medio de transmisión tiene que ser igual o mayor a la suma del ancho de banda de las líneas conectadas al MUX.

$$W = \sum W_i$$

W_i : Ancho de banda del canal i .

Dependiendo del momento de la multiplexación se necesita un ancho de banda distintos.

-M. POR LONGITUD DE ONDA (WDM): Tipo de multiplexación por división en frecuencias, pero se usa cuando el medio de transmisión es de fibra óptica.

Los MUX son más complicados, se utilizan MUX OPTICOS: asignan un conjunto de frecuencias para el caso de recibir o para el caso de transmitir información.

Cada conjunto de frecuencias se puede codificar de forma analógica o digital.

El MUX divide el conjunto de frecuencias en grupos y se asignan a las señales ópticas que se van a transmitir de forma independiente.

Permite transmitir varios láseres de distintas frecuencias (longitudes de onda) en la misma fibra, multiplexando la capacidad de transmisión del canal sin instalar una fibra nueva.

A cada señal (haz de luz) que se transmite se la denomina λ y pueden tener distintas frecuencias.

$$\lambda = C \text{ (velocidad luz) } / \text{ frecuencia}$$

* **FIBRA:** Es la que transporta la energía del laser desde el emisor hasta el receptor. El numero de λ por fibra que se utilizan actualmente son más de 100 fibras.

La WDM tiene dos ventajas sobre la transmisión óptica tradicional: la primera es la multiplicación de la capacidad de cada fibra y la segunda la independencia de formato que proporciona.

* **DWDM:** Multiplexación por división en longitud de onda densa. La separación entre los λ es menor, el número de canales que se utilizan es mayor y más cercano entre sí.

• **M. POR DIVISION EN EL TIEMPO:** Se pueden transmitir varias señales digitales a través de una única ruta de transmisión mediante la mezcla temporal de partes de cada una de las señales.

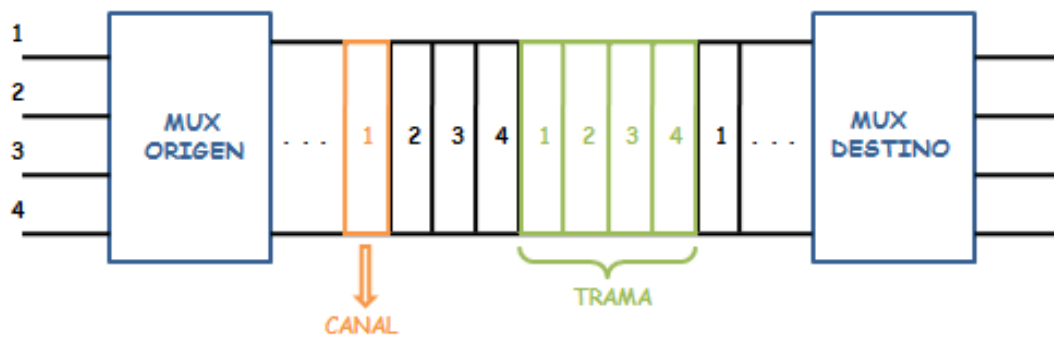
Este tipo de multiplexación es posible cuando la velocidad de transmisión alcanzable por el medio excede a la velocidad de las señales digitales a transmitir.

Asigna a cada señal conectada al MUX un espacio de tiempo (slot de tiempo) del ancho de banda.

Las señales que van por el canal son digitales. Los datos de entrada se almacenan brevemente en un buffer, cada buffer tiene una longitud típica de un bit o un carácter.

Diferentes usuarios comparten todo el ancho de banda pero en espacios de tiempo distintos de forma cíclica durante todo el tiempo que se transmite la información.

Si queremos transmitir datos analógicos necesitamos un MIC para digitalizar la información.



El tiempo entre dos muestras consecutivas de la misma señal se denomina TRAMA. Mientras que se muestrea en una señal, se muestrea otra.

Se denomina CANAL al tiempo asignado para transmitir una muestra. Se puede hacer a nivel de bit, a nivel de carácter o incluso a nivel de bloque siempre y cuando el canal sea fijo.

El régimen binario del medio de transmisión es:

$$R_{Bin} = \sum R_{Bin_i} = R_{Bin_1} + R_{Bin_2} + \dots R_{Bin_n} \quad \Rightarrow \quad W = R_{Bin} / 2$$

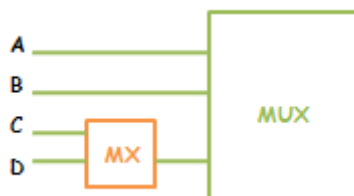
El número de señales que se van a conectar a un MUX son muy elevadas e incluso el ancho de banda de las señales transmitidas son también distintos.

La multiplexación por división en el tiempo es síncrona, es decir, se cumple que:

$$N^{\circ} \text{ canales} = N^{\circ} \text{ señales_MUX_Origen} = N^{\circ} \text{ señales_MUX_Destino.}$$

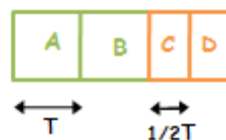
La velocidad de las líneas que se conectan al MUX no tiene por ser iguales, cuando esto ocurre podemos:

1. **MULTIPLEXAR:** Multiplexamos tanto el origen como el destino, es decir, unificamos las líneas con menor valor en una única línea con el valor de la mayor.



Cuando por la línea C o D llega un dato por la línea A o B llegan dos datos.

2. **MODIFICANDO LA TRAMA:** Asignamos la mitad del tiempo a las líneas con la mitad de capacidad (o ancho de banda).



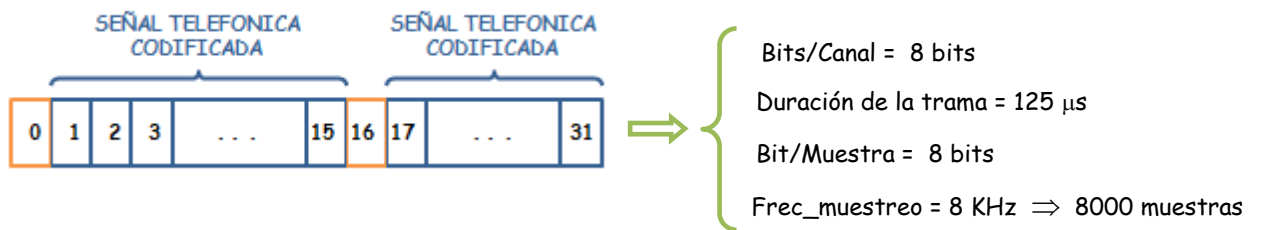
3. Otra forma es añadir bits con información de sincronismo.

-ESTANDAR: La multiplexación por división en el tiempo puede seguir dos estándares, estos estándares sólo son válidos para el primer nivel de multiplexación.

* **EUROPEO:** El número de canales que se multiplexan son 32 canales.

La trama se compone de 30 canales para datos y 2 canales de información adicional. El canal 0 que se encarga de la alineación de la trama y el canal 16 que se usa para señalización.

Diseñado para la línea telefónica, las señales que se envían son señales telefónicas codificadas.



Bit/Trama = bit/muestra x canal/trama = 8 x 32 = 256 bits.

El régimen binario total será la suma de los regímenes binarios de cada canal, como el régimen binario para una línea telefónica es de 64 Kbps ⇒ $R_{Bin} = 32 \times 64 \text{ Kbps} = 2048 \text{ Kbps}$

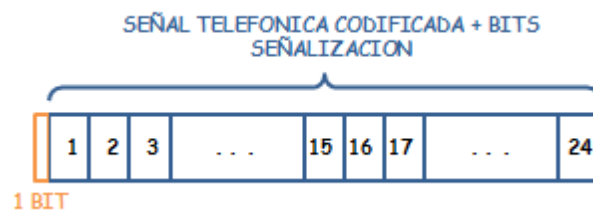
Si no supiésemos el régimen binario de un a línea telefónica y tuviéramos que partir de la ecuación original
 ⇒ $R_{Bin} = 8000 \text{ muestras} \times 8 \text{ bits/muestra} \times 32 \text{ canales} = 2048 \text{ Kbps}$

* **AMERICANO:** El número de canales que se multiplexan son 24 canales.

Todos los canales son de datos, además hay que añadir un bit a parte que indica el inicio y se usa para la sincronización.

Los bits de sincronización van incluidos en cada canal. Bits/Canal = 8 bits.

La duración de la tramas también es de 125 μs.



Bit/Trama = bit/muestra x canal/trama + bit_inicio = 8 x 24 + 1 = 193 bits.

El régimen binario será: $R_{Bin} = \text{Frec_muestreo} \times \text{Bit/Trama} \Rightarrow R_{Bin} = 8000 \times [(24 \times 8) + 1] = 1544 \text{ Kbps}$.

-**JERARQUIA:** Existen dos posibles jerarquías para datos digitales (comienzan por G.)

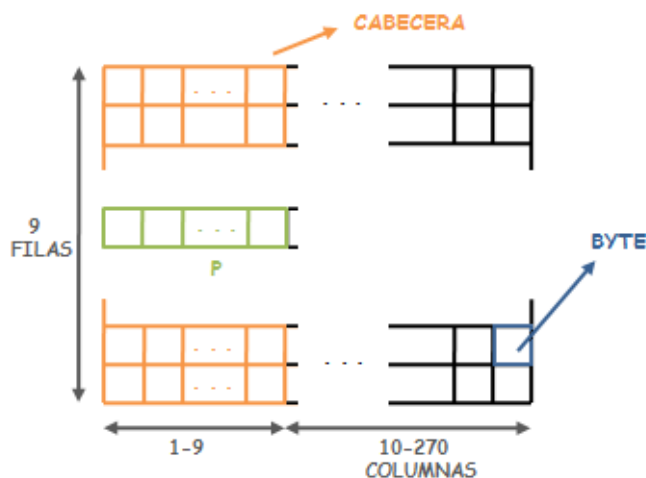
* **PLESIOCRONA (G.703):** El número de multiplexadores que vamos a poder poner nos tiene que permitir llegar al último valor de la jerarquía.

La multiplexación se hace a nivel de bit, para saber la información que va por un canal tenemos que demultiplexar todos los canales.

* **JDS (DIGITAL SINCRONA):**

Para redes diseñadas con fibras con fibra óptica.

Las tramas se denominan contenedores y son de la forma:



El puntero (P) es la dirección donde se busca la información que necesitamos, y así evitamos demultiplexar.

La información se transmite a través de una matriz (trama) es mucho más rápido.

El primer nivel multiplexa 2430 octetos, se multiplexa a nivel de octeto.

La información de la matriz se transmite por columnas. Las primeras 9x9 celdas con la cabecera de la información que se transmite.

-M. ESTADISTICA: Tipo de multiplexación por división en el tiempo.

Se usa cuando la portadora es digital y el número de señales en el origen no son las mismas en el destino, no siempre se va a transmitir información por todos los canales y va a aparecer tiempos muertos.

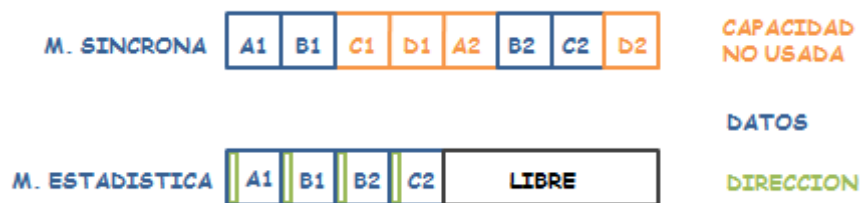
Lo primero que se hace es un estudio de cómo va a ser la información que llega al multiplexor y diseñar una trama adecuada.

Se pretende optimizar el medio de transmisión para que cuando llega la información antes de empaquetarla para mandarla, vea como es y se diseñe el formato de la trama para enviarla.

La longitud de la trama tiene que ser menor que toda la información de los elementos que llegan a la vez por el canal. El canal siempre lleva información.

Como el origen y el destino no son iguales la información que va por el canal no son datos útiles ya que se tiene que incorporar información suplementaria por ranura que indique la dirección destino (información destino).

* **TIEMPO_CANAL**: Es el tiempo para transmitir 1 bit/byte/bloque y la información de destino.



El multiplexor estadístico reserva de forma dinámica bajo demanda las ranuras o divisiones de tiempo, es decir, la asignación del ancho de banda es dinámica.

Se le asigna un ancho de banda a los elementos que tienen algo que mandar, y para ello va a ir preguntando a todas las entradas de forma cíclica si quieren enviar algo.

Cuanto mayor es la información que se quiere enviar más eficiente es el multiplexor.

Es necesario que los MUX tengan un buffer para que si la información llega y no puede salir se almacene y se mande en la trama siguiente (no se pierde). Por eso no se va a cumplir que el régimen binario sea mayor o igual que la suma de los regímenes binarios parciales.

3.2 ESPECTRO EXPANDIDO.

Consiste en la expansión de una señal de ancho de banda w en otro W superior en orden de magnitud.

Se usa en transmisiones inalámbricas, en aplicaciones militares y para GPS.



En un sistema de espectro expandido los datos de entrada van a ir a un codificador de canal que produce una señal analógica con un ancho de banda estrecho. Esta señal se modula haciendo uso de una secuencia de expansión que se genera normalmente mediante un generador de números pseudoaleatorios y que produce un incremento del ancho de banda de la señal a transmitir.

Los sistemas de espectro expandido surgen debido a:

1. Se pierde intimidad en la información y es necesario protegerla.
2. Aparecen interferencias provocadas para cambiar la información y es necesario silenciarlas añadiendo redundancia. Esto implica el aumento del ancho de banda.

Los objetivos que tiene un sistema de espectro expandido son:

1. Inmunidad al ruido y distorsiones multitrayectoria.

2. Ocultar y cifrar señales. Protege las señales para que aunque sean captadas no se pueden interpretar.
3. Multiplexación de varias señales, lo que permite aumentar la información que va por el canal.

• POR SALTO DE FRECUENCIAS:

La señal se emite sobre una serie de frecuencias pseudoaleatoria, saltando de frecuencia en frecuencia en intervalos fijos de tiempo.

La información se divide en bloques y se les van a asignar frecuencias distintas. La información se codifica añadiendo información de redundancia para indicar el destinatario de la información.

El receptor captará el mensaje saltando de frecuencia en frecuencia sincronamente con el transmisor. Los receptores no autorizados escucharán una señal inteligible.

• SECUENCIA DIRECTA:

Cada bit de la señal original se representa utilizando varios bits en la señal a transmitir, haciendo uso de un código de expansión. Este código expande la señal sobre una banda de frecuencias más ancha dependiendo del número de bits utilizados.

El receptor usa una secuencia de código que va a ser replicada por el emisor.

Para transmitir un '1' se va a transmitir el código de expansión, mientras que si lo que se quiere transmitir es un '0' se transmite el complementario del código de expansión.

En la recepción se va a efectuar el producto escalar de la señal recibida con el código de expansión.

-FORMULACION:

$$\text{Datos} = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_d) \Rightarrow \begin{cases} a_i = -1 & \Leftrightarrow \text{para } 0 \\ a_i = +1 & \Leftrightarrow \text{para } 1 \end{cases}$$

$$\text{Generador del código} = C = (c_1, c_2, c_3, \dots, c_n)$$

$$\text{Transmisión del bit } a_i = a_i * (c_1, \dots, c_n) = (a_i c_1, \dots, a_i c_n) \text{ bits}$$

$$\text{Recepción: } a_i (c_1^2 + \dots + c_n^2) = n a_i \text{ (se recupera } a_i)$$

Si se detecta con otro código D resulta que $a_i * (c_1 d_1, \dots, c_n d_n) = 0$ para n suficientemente grande o bien C y D son ortogonales.

Cuando se emplea un código erróneo, es decir, el de otro transmisor se obtiene un resultado diferente de n o -n (siendo n el número de bits del código). Cuando n es lo suficientemente grande tiende a cero.

* EJEMPLO:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Código: } 1 -1 -1 1 -1 1 \\ \text{Datos: } 1 0 1 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Transmisión: } 1 -1 -1 1 -1 1, -1 1 1 -1 1 -1, 1 -1 -1 1 -1 1.$$

El receptor decodifica calculando el resultado de multiplicar los valores recibidos por el código del emisor (bit a bit) y sumando.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transmisión: } 1 -1 -1 1 -1 1, -1 1 1 -1 1 -1, 1 -1 -1 1 -1 1. \\ \text{Código: } 1 -1 -1 1 -1 1 \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} \text{Resultado: } 1 1 1 1 1 1, -1 -1 -1 -1 -1 -1, 1 1 1 1 1 1. \\ \text{Resultado: } 0 1 0 \end{array}$$

Todas las estaciones de una red utilizan el mismo código de expansión. Por lo tanto cuando accede más de una estación las señales pueden colisionar.

El código de expansión sirve fundamentalmente para minimizar el efecto de las interferencias entre equipos de diferentes redes.

-DIVISION POR CODIGO (CDMA): Caso particular de espectro expandido por secuencia directa.

Se utiliza para canalización, es decir, varios canales utilizan la misma banda de frecuencias pero con distintos códigos generadores.

Cada estación transmite utilizando todo el espectro de frecuencias.

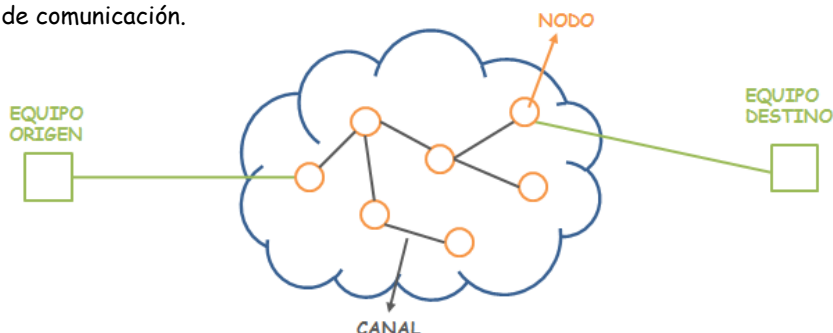
Aunque múltiples transmisores empleen la misma, se puede recibir la información de uno de ellos.

4. TECNICAS DE CONMUTACION.

- **RED CONMUTADA:** Conjunto de dispositivos enlazados entre sí. Está formada por nodos y canales de comunicación entre nodos.

El contenido de los datos no les interesa a los nodos de conmutación, sino que su único propósito es proporcionar un servicio de conmutación que posibilite el intercambio de datos entre nodos hasta alcanzar el destino deseado.

Las estaciones que se desean comunicar a través de la red pueden ser computadores, terminales, teléfonos u otros dispositivos de comunicación.



-NODO: Dispositivo de comunicación cuyo objetivo es proporcionar la comunicación.

Ofrecen un enlace entre los elementos alrededor de él, es decir, ofrece un servicio de encaminamiento dentro de esa red.

Al conjunto de todos los nodos se les denomina RED DE COMUNICACIONES.

Los nodos que solo se conectan con otros nodos, tienen como única tarea la conmutación interna de los datos. Los nodos que están conectados a una o más estaciones además de las funciones de conmutación aceptarán datos desde y hacia las estaciones a las que están conectadas.

Los enlaces entre nodos están normalmente multiplexados, utilizando multiplexación por división en frecuencias o en el tiempo.

Por lo general una red no está completamente conectada, es decir, no existe un enlace directo entre cada posible pareja de nodos. Aunque sería deseable ya que al tener más de un posible camino para cada par de estaciones se mejoraría la fiabilidad de la red.

En las redes conmutadas de área amplia se emplean dos tecnologías diferentes: conmutación de circuitos y conmutación de paquetes.

4.1 CONMUTACION DE CIRCUITOS.

Implica la existencia de un camino o canal de comunicación dedicado entre dos estaciones. Tiene que haber una secuencia de enlaces conectados entre nodos de la red.

A cada uno de los enlaces físicos se le dedica un canal lógico para cada conexión.

La comunicación se compone de tres fases:

1. **ESTABLECIMIENTO DEL CIRCUITO:** El emisor solicita el establecimiento, el primer nodo va a reservar uno de sus canales para la comunicación y manda la solicitud al siguiente nodo.
Se tendrá que tener en cuenta las políticas de encaminamiento de la red.
Esta fase termina cuando existe un canal lógico entre emisor y receptor
2. **TRANSFERENCIA DE INFORMACION:** En esta fase se realiza el intercambio de información entre los terminales (emisor y receptor)
Como existe un canal, los nodos ya no tienen que encaminar, ya hay un circuito dedicado entre origen y destino.
3. **DESCONEXION DEL CIRCUITO:** En esta fase los terminales indican que ya han terminado su comunicación.
Los nodos van liberando el canal que estaba reservado.

Puede llegar a ser bastante ineficiente, ya que la capacidad del canal se dedica permanentemente a la conexión mientras esta dura, independientemente de si se están o no transfiriendo datos.

Existe un retardo previo a la transferencia debido al establecimiento del circuito, pero una vez establecido la velocidad de transmisión será fija sin otro retardo que el de propagación a través de los enlaces de transmisión. El retardo producido por los nodos es despreciable.

Aunque fue desarrollada para el tráfico de voz, actualmente también se usa para el tráfico de datos.

Cuando aumenta el tráfico en la red algunas llamadas se bloquean, es decir, la red rechaza la aceptación de solicitudes de conexión adicionales mientras no disminuya la carga de la red.

4.2 CONMUTACION DE PAQUETES.

La información a transmitir por el equipo terminal se descompone en unidades mínimas llamadas paquetes.

Los datos se transmiten en paquetes cortos de longitud prefijada (máximo 1000 octetos). Si un emisor tiene que enviar un mensaje de mayor longitud, éste se segmentara en una serie de paquetes.

Cada paquete va a contener una parte de los datos de usuario y además información de control necesaria para el correcto funcionamiento de la red, es decir, información que necesita la red para encaminar el paquete y alcanzar el destino deseado.

$$\text{Paquete} = \text{Datos_Usuario} + \text{Inf_Control}$$

La información de control va a ir en una cabecera que se le añade al paquete antes de ser enviado.

La conmutación de paquetes presenta ciertas ventajas con respecto a la conmutación de circuitos:

1. La eficiencia de la línea es superior, ya que un único enlace entre dos nodos se puede compartir dinámicamente en el tiempo entre varios paquetes.
2. Puede realizar una conversión en la velocidad de los datos. Dos estaciones de diferente velocidad pueden intercambiar paquetes.
Si hay mucho tráfico en la red esto provocara que la comunicación sea más lenta.
3. Aunque aumente el tráfico de la red se seguirán aceptando nuevas solicitudes aunque esto haga que aumente el retardo en la transmisión.
4. Se puede hacer uso de prioridades, de modo que si un nodo tiene varios paquetes en cola para su transmisión, este puede transmitir primero aquellos con mayor prioridad y tendrán un retardo menor.

Si una estación tiene que enviar un mensaje de longitud superior al máximo permitido, se fragmentara el mensaje y se enviaran uno a uno hacia la red. Para gestionar esa secuencia de paquetes a la hora de encaminarlos por la red y entregarlos en el destino deseado se pueden usar dos técnicas: datagrama y circuitos virtuales.

• DATAGRAMAS:

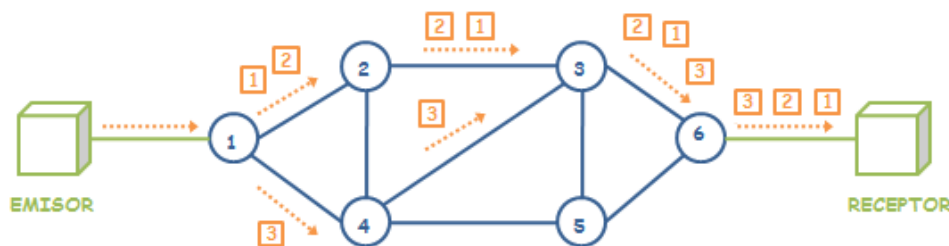
El emisor va a añadir información de control a los paquetes, y los envía. Cada paquete se trata de forma independiente, sin referencia alguna a los paquetes anteriores.

Los paquetes se procesan de forma independiente en los nodos de la red.

Cada nodo elige el siguiente nodo en la ruta del paquete de acuerdo con la información recibida de los nodos vecinos acerca del tráfico.

No todos los paquetes van a seguir la misma ruta, aunque tengan el mismo destino.

Los paquetes se pueden recibir desordenados en el ultimo nodo, este nodo los almacenara y los reordena antes de retransmitirlos al destino. En algunos casos será el propio destino el que reordene los paquetes.



Solo es necesaria la fase de transferencia de información. Lo que hace que si el número de paquetes es reducido el envío es muy rápido.

A los paquetes se les van a denominar datagramas.

Es posible que los paquetes se pierdan en la red, si un nodo falla se perderán todos los paquetes en su cola y será responsabilidad del nodo final o del destino detectar la perdida y decidir cómo recuperarlo.

En caso de congestión, los datos entrantes se pueden encaminar siguiendo rutas lejanas a la zona de congestión.

Si un nodo falla los paquetes siguientes pueden encontrar una ruta alternativa que no atraviese dicho nodo.

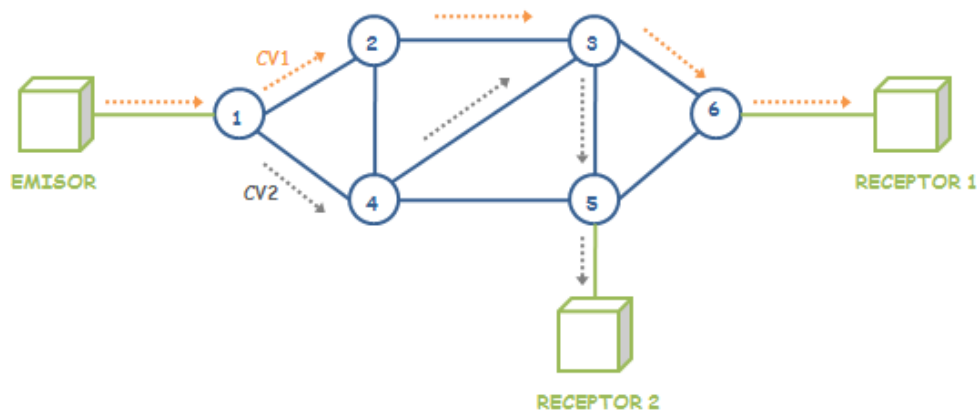
• CIRCUITOS VIRTUALES:

Se establece una ruta previa al envío de los paquetes. El emisor envía un primer paquete de establecimiento de conexión y los nodos establecen un circuito virtual.

Una vez establecida la ruta todos los paquetes seguirán dicho camino a través de la red.

Cada paquete va a contener un identificador de circuito virtual. Cada estación puede tener más de un circuito virtual hacia otra u otras estaciones.

Los nodos no toman decisiones de encaminamiento durante la fase de transferencia, la decisión se toma una sola vez para todos los paquetes que usan un circuito virtual.



Ofrecen servicios de secuenciamiento y control de errores en cada nodo. El orden secuencial permite que como los paquetes siguen la misma ruta, se van a recibir en el mismo orden en el que se enviaron. El control de errores asegura que los paquetes que se reciben son correctos y si se produce algún fallo será el nodo que lo detecte el que pide la retransmisión.

Un paquete se va a almacenar en cada nodo y puesto en cola sobre una línea de salida mientras que otros paquetes en otros circuitos virtuales pueden compartir el uso de la línea.

Cuando se produce congestión en la red al tener un circuito predefinido será más difícil de solucionar.

Si un nodo falla se perderán todos los circuitos virtuales que atraviesan ese nodo.

4.3 CONMUTACION RAPIDA DE PAQUETES.

Es una alternativa a la conmutación de circuitos y a la conmutación de paquetes.

La red realiza una verificación mínima de errores, y los paquetes con errores se descartan. La red no realiza ninguna corrección de errores ya que se asume que será realizada por el usuario final que usa protocolos de niveles superiores. La red ofrece un servicio poco fiable.

Dos tipos de tecnologías:

- **CONMUTACION DE TRAMAS:** Permite que la longitud de la unidad de información sea variable. Esta unidad de información se denomina trama.

Permite transmitir información a gran velocidad.

- **CONMUTACION DE CELDAS:** La unidad que se transmite es fija y muy pequeña. La unidad que se transmite se denomina celda.

–**CELDA:** Compuesta por 53 octetos. Se desglosa en 5 octetos para la cabecera y 48 octetos para el cuerpo.

La diferencia de estas dos técnicas está en la longitud de la trama. Se busca que parte del encaminamiento por la red sea por hardware.